

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

Русе, 5-7 май 2019 г.

Тема за IV възрастова група (10. –12. клас)

Задача 1. Детски „кърлинг“

Върху хоризонтален прав асфалтов път разстоянието между две точки A и B е l . Дете рита топка, намираща се в A , с начална скорост v_0 под ъгъл спрямо хоризонта. Целта му е топката да попадне в B .

а) При каква минимална начална скорост топката може да достигне B директно, без да да отскача от асфалта? [2 т]

б) Началната скорост v_0 е такава, че топката не може да достигне директно B , какъвто и да е ъгълът, под който е ритната. Нека тя отскача от асфалта абсолютно еластично, т.е. топката след удара отскача със същата по големина скорост, както преди удара, като ъгълът на падане е равен на ъгъла на отражение. Под какъв ъгъл α спрямо хоризонта трябва да бъде изритана топката така, че да попадне в B на n -тото поред отскачане от асфалта? [1 т]

в) За колко време T_n топката ще попадне в B при n -тото докосване на асфалта? [2 т]

г) Как детето трябва да променя началния ъгъл α , така че топката да достига в B все по-бързо? Изведете формула за най-малкото възможно време T_{\min} . На какъв вид движение отговаря това минимално време?

В зависимост от начина на решение, можете да използвате приближената формула

$$(1-\varepsilon)^{1/2} \approx 1 - \frac{\varepsilon}{2}, \text{ когато } \varepsilon \ll 1. \quad [4 \text{ т}]$$

д) Нека приемем, че топката, когато отскача от асфалта, губи част от кинетичната си енергия. Отношението на кинетичната енергия, непосредствено след отскока на топката от асфалта и на кинетичната енергия непосредствено преди удара в асфалта е рвно на κ , като $\kappa \ll 1$. При удара ъгълът на падане е равен на ъгъла на отражение. Ако детето хвърля топката под ъгъл α , какво ще е крайното (максималното) разстояние, което ще достигне тя? [3 т]

е) За какво време топката ще измине максималното разстояние? [3 т]

Задача 2. Задача – оценка.

За решаване на задачата-оценка е необходимо да се разбере същността на разглежданото физично явление, да се формулира прост модел на явлението, да се изберат разумни стойности на физичните величини и да се получи числен резултат, който повече или по-малко съответства на реалността. В много случаи е полезно използването на законите за запазване, основните принципи на физиката, както и съображения за размерност. В последния случай мерната единица на величина, която е равна на произведение от величини (всяка на определена степен), трябва да съвпада с нейната мерна единица. Оценката в този случай е с точност до произволен множител от порядъка на единица.

В някои от предложените задачи се иска да определите дадена величина, което означава да укажете метод за нейното точно получаване. В други задачи се търсят величини, които трябва да бъдат *оценени*. В този случай като правило се използва приближен метод, който бързо води до правилен израз и порядък за търсената величина.

2.1. Топлинен двигател

Един mol идеален газ се използва като работно тяло в топлинен двигател. В процеса на работа на двигателя зависимостта на налягането на газа p и на неговия обем V от времето се дават съответно с изразите

$$p(t) = p_0 \left(1 - \frac{1}{4} \cos \omega t \right), \quad V(t) = V_0 \left(1 - \frac{1}{4} \sin \omega t \right).$$

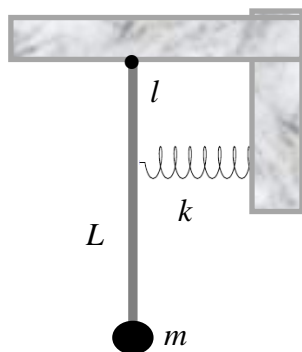
а) Начертайте графиката на цикличния процес, като използвате подходящи променливи. [2 т]

б) Посочете, като аргументирате отговора си, между кои две точки от графиката на процеса работното тяло ще получава топлина. [1 т]

б) Оценете КПД на топлинния двигател. [3 т]

2.2. Комбинирано махало

Към долния край на лека пръчка с дължина L е прикачено малко тяло с маса m , а горният ѝ край е окачен неподвижно, така че да се образува математично махало. На разстояние l от точката на окачване пръчката е прикрепена към пружина с коефициент на еластичност k , като тя е недеформирана в положение на равновесие на махалото (фиг. 1). Намерете честотата на хармоничните трептения на махалото. [4 т]



фиг. 1

2.3. Съотношение за неопределеност

Математично махало с дължина l и маса m извършва хармонични трептения с минимална енергия.

а) Като използвате съотношението за неопределеност на Хайзенберг $\Delta x \Delta p \sim \hbar$, намерете минималната енергия на махалото. [2 т]

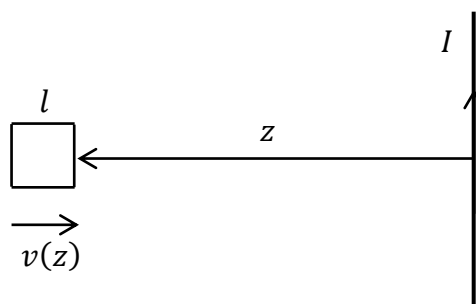
Ще въведем неопределеност на физична величина ΔA като дължината на интервала, съответстващ на изменението на величината A в съответното квантово състояние.

б) Оценете неопределеността на отклонението на махалото от вертикалата $\Delta \phi$ и неопределеността на момента на импулса ΔL в състояние с минимална енергия. [2 т]

в) Намерете произведението $\Delta \phi \Delta L$ и интерпретирайте получения резултат. [1 т]

Задача 3. Движение на проводяща рамка в магнитно поле.

По безкраен прав проводник тече ток I . Квадратна рамка със страна l , маса m и съпротивление R (това съпротивление може да измерим, ако разрежем рамката и измерим съпротивлението между двата ѝ края) първоначално се намира безкрайно далеч от проводника и се движи към него със скорост v_∞ . Посоката на скоростта е перпендикулярна на безкрайния проводник и лежи в равнината на чертежа. Рамката остава в равнината на чертежа през цялото време. Индуктивността ѝ се пренебрегва.



а) Получете формула за магнитния поток $\Phi(z)$, който пробоща рамката, когато тя се намира на разстояние z от проводника (навсякъде в задачата се приема, че $l \ll z$). [1 т]

б) Получете формула за индуцирания ток $I_R(z, v(z))$ в рамката, когато тя се намира на разстояние z от проводника. [2 т]

в) Получете формула за силата $F(z, v(z))$, която действа на рамката, когато тя се намира на разстояние z от проводника. [4 т]

г) Получете формула за скоростта $v(z)$, в която присъстват v_∞ и останалите параметри на задачата (за да бъде формулата по-обозрима, произведение от параметрите може да се бележи с нов символ A). [3 т]

д) При какво разстояние z_{min} рамката ще спре? Изразете z_{min} чрез v_∞ и A . [2 т]

е) При какво разстояние z_a , ускорението на рамката ще е максимално? Ако $z_a = kz_{min}$, изчислете стойността на k . [3 т]

Представете всички отговори в таблица, подобна на дадената:

величина	формула
$\Phi(z) =$	
$I_R(z, v(z)) =$	
$F(z, v(z)) =$	
$v(z) =$	
$A =$	
$z_{min} =$	
$k =$	

Полезна физика и математика:

Индукцията на магнитното поле на безкраен прав проводник, по който тече ток I , на разстояние z от него, е $B(z) = \frac{\mu_0 I}{2\pi z}$

$$\frac{d}{dx}(y^n) = ny^{n-1} \frac{dy}{dx}; \quad \frac{d}{dt}y(x(t)) = \frac{dy}{dx} \frac{dx}{dt};$$

$$f(x + \Delta x) \approx f(x) + \frac{df}{dx} \Delta x$$

Ако $\frac{df(x)}{dx} = \frac{dg(x)}{dx}$, то $f(x) = g(x) + const.$

Задача 4. Слънчева физика

Интензитетът на слънчевата светлина, която достига земната орбита, е $I_0 = 1370 \text{ W/m}^2$ (т.нар. *слънчева константа*). Радиусът на земната орбита е $r_0 = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$. Радиусът на Слънцето е $R_\odot = 7,0 \cdot 10^8 \text{ m}$, а масата му – $M_\odot = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Подточка а) е независима от останалите подточки на задачата и може да се решава и след тях!

а) В някои проекти за пътуване до други планети от Слънчевата система се предлага задвижване на космическите кораби посредством т.нар. слънчеви платна. Слънчевото платно е тънко алуминиево фолио, поставено перпендикулярно на падащите върху него слънчеви лъчи. Космическият кораб се задвижва поради налягането на слънчевата светлина, отразена от платното.

Намерете минималната дебелина d на слънчево платно, при която силата на светлинното налягане уравновесява гравитационната сила, действаща на платното. Приемете, че платното отразява напълно падащата светлина. Размерът на платното е малък в сравнение с радиуса на земната орбита. Плътноста на алуминия е $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$. [6 т]

Следващите подточки са независими от т. а) и може да бъдат решавани преди нея.

б) Като използвате данните от условието, оценете температурата T на повърхността на Слънцето. Приемете, че Слънцето излъчва като абсолютно черно тяло. [3 т]

в) Намерете дължината λ_0 на електромагнитната вълна, при която излъчването на Слънцето е най-интензивно. [1 т]

г) Известно е, че минималният фотонен поток*, който може да предизвика зрително възприятие в човешкото око, е $\Phi_{\min} \approx 1 \cdot 10^8$ фотона/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$). Приблизително колко светлинни години е максималното разстояние r_{\max} , на което Слънцето може да бъде видяно с невъоръжено око? Можете да приемете като приближение, че слънчевата светлина се състои от фотони с еднаква енергия. [5 т]

*Фотонен поток Φ се нарича броят фотони, които минават за единица време през единица площ, перпендикулярна на светлинния сноп.

Фундаментални физични константи:

- скорост на светлината във вакуум, $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s;
- гравитационна константа, $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ $\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$;
- константа на Стефан – Болцман, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ $\text{W}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2)$;
- константа на Вин, $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ m.K;
- константа на Планк, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s.